Chernóbil, diez años después

Las consecuencias para el ambiente y la salud de la mayor catástrofe producida en una central nuclear perdurarán a través de generaciones

Yuri M. Shcherbak

"Era como si el mundo llegase a su fin... No daba crédito a lo que veían mis ojos: el reactor hecho trizas por la explosión. Nadie antes había contemplado semejante desastre. Como soy ingeniero nuclear, me di cuenta enseguida de las consecuencias que tendría lo que había pasado. Un infierno nuclear. Sentí pánico."

Así me escribía, en 1986, el jefe encargado del reactor nuclear que estalló en la central de Chernóbil (en el norte de Ucrania). La explosión y el incendio que produjo esparcieron cenizas radiactivas por buena parte de la Europa oriental. Aunque no reconoció su culpa, fue luego uno de los encarcelados por la parte que le tocaba en el desastre.

Las investigaciones oficiales subsiguientes han demostrado, sin embargo, que la responsabilidad de esta tragedia espantosa no correspondía sólo a quienes vigilaban la central la noche del 25 y la madrugada del 26 de abril de 1986. Las consecuencias, igualmente, se han extendido mucho más allá de la industria nuclear; los problemas que se han suscitado son fundamentales en una civilización dominada por la técnica. Antes de la explosión, Chernóbil era una pequeña ciudad apenas conocida para el resto del mundo. Desde entonces, su nombre ha entrado en los anales de la historia asociado al peor desastre ambiental de origen técnico. En todo el mundo es metáfora de catástrofe, lo mismo que "Stalingrado" o "Bophal". Sus repercusiones políticas aceleraron el derrumbe del imperio soviético.

La importancia de este desastre para toda la humanidad obliga a conocer las razones de que sucediera así como sus consecuencias. Son bien sabidos los hechos que condujeron a la explosión. El reactor número cuatro, un RBMK-1000, de 1000 megawatts, producía vapor que movía los generadores de electricidad. La noche del accidente los técnicos realizaban una prueba; querían ver cuánto tiempo funcionaban los generadores sin energía. Para ello redujeron mucho la que producía el reactor y bloquearon el flujo de vapor hacia los generadores.

Por desgracia, el diseño del RBMK-1000 tiene un defecto que vuelve inestable su funcionamiento a baja energía. En esas condiciones, basta un aumento espurio de la producción de vapor para que se acelere la de energía en el reactor. Si entonces se genera más vapor, puede haber una erupción desbocada de energía. Además, los técnicos, para que no perturbasen los resultados de la prueba, habían desconectado los sistemas de seguridad, que podrían haber evitado la destrucción del reactor.

A la una y veintitrés con cuarenta segundos de la madrugada del 26 de abril, tardíamente consciente de que la situación se había vuelto peligrosa, un empleado apretó un botón que activaba el sistema automático de protección. Se proponía con ello apagar el reactor, pero ya era demasiado tarde. Lo que en realidad pasó fue como si un conductor pisase el freno para disminuir la velocidad de su coche y provocase, por contra, una aceleración incontrolable.

En tres segundos, la producción de energía del núcleo del reactor centuplicó el nivel máximo normal y la temperatura subió drásticamente. El resultado fueron dos explosiones que hicieron volar por los aires la placa metálica de 2000 toneladas de peso que sellaba la parte superior del reactor y destruyeron el edificio donde se albergaba. El genio nuclear había sido liberado.

Pese a los heroicos esfuerzos por extinguir el fuego que siguió a la explosión, durante diez días ardieron los cientos de toneladas de grafito que hacían de moderador en el reactor. Los gases calientes que ascendían llevaron al exterior, convertidos en aerosoles, el combustible y los productos de fisión, es decir, los isótopos que se crean cuando los átomos de uranio se escinden. El combustible era, sobre todo, uranio, mezclado con cierta cantidad de plutonio, subproducto del funcionamiento normal del reactor. El plutonio es el elemento más tóxico que se conoce, y algunos de los productos de fisión eran mucho más radiactivos que el uranio o el plutonio. Entre los más peligrosos estaban el yodo 131, el estroncio 90 y el cesio 137.

Un penacho con estos elementos avanzó, arrastrado por los vientos dominantes, hacia el norte y el oeste, y depositó partículas radiactivas sobre zonas situadas a miles de kilómetros. Entre las regiones afectadas no sólo estaba la propia Ucrania, sino también Bielorrusia, Rusia, Georgia, Polonia, Suecia, Alemania y Turquía. Ni siquiera los remotos Estados Unidos y Japón quedaron exentos de dosis mensurable de radiación. En Polonia,

YURI M. SHCHERBAK es embajador de Ucrania en los Estados Unidos. Se graduó en la facultad de medicina de la Universidad de Kiev en 1958, especializándose en epidemiología. En 1988 fundó y dirigió el Movimiento Verde Ucraniano, hoy Partido Verde. En 1989 consiguió un escaño en el Soviet Supremo de la URSS, donde, siendo uno de los líderes de la oposición, puso en marcha la primera comisión parlamentaria sobre el accidente de Chernóbil.

1. ZONA PROHIBIDA: un policía ucraniano controla el acceso a una localidad del distrito de Narodichi, región evacuada tras la explosión en la cercana central de Chernóbil que causó la precipitación de partículas radiactivas.

Alemania, Austria, Hungría y Ucrania hubo que destruir las cosechas y la leche contaminadas, mientras que en Finlandia, Suecia y Noruega hubo que deshacerse de los renos muertos que habían pacido la vegetación irradiada.

Nunca se sabrá la cantidad total de radiactividad liberada, pero la cifra soviética oficial de 90 millones de curies es un mínimo. Otros cálculos sugieren que el total quizá fuese varias veces mayor. No es exagerado decir que, por lo que se refiere a la caída de partículas radiactivas —aunque no, claro, por sus efectos térmicos y explosivos—, el accidente fue comparable a un bombardeo nuclear de magnitud media. En los momentos inmediatamente siguientes a la explosión y el fuego, 187 personas manifestaron un envenamiento agudo por radiaciones; 31 de ellas murieron. La mayoría de estas primeras víctimas eran bomberos que combatían el fuego.

El reactor destruido liberó cientos de veces más radiación que los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki. La intensidad de la radiación gamma en la central nuclear superó los 100 roentgens por hora. Este nivel produce en una hora una dosis cientos de veces la máxima que la Comisión Internacional de Protección Radiológica admite para el público en un *año*. En el techo del edificio destruido del reactor, el nivel de radiación alcanzó unos terroríficos 100.000 roentgens por hora.

La dimensión humana de la tragedia es grande y sobrecogedora. En la época del accidente yo era investigador médico en el Instituto de Epidemiología y Enfermedades Infecciosas de Kiev, a unos cien kilómetros de la central de Chernóbil. El día 26, en cierto momento, un amigo me dijo que habían estado llegando personas al hospital para que las tratasen de quemaduras sufridas en un accidente en la central, pero no teníamos ni idea de si había sido grave. Hubo pocas noticias oficiales durante los siguientes días, y se dio a entender que no era mucho el peligro. Las autoridades interfirieron casi todas las emisiones extranjeras, pero oímos una emisora de radio sueca que informaba de la detección de altos niveles de radiación en ese país y en otros. Con otros compañeros, decidí acudir al lugar de accidente para investigar y ayudar en lo que pudiéramos.

Partimos con buenos ánimos, pero a medida que nos acercábamos fuimos viendo escenas de pánico. Quienes tenían contactos con los medios oficiales habían recurrido a su influencia para enviar fuera a los niños por avión o en tren. Los que no, hacían largas colas para sacar los billetes o, en ocasiones, intentaban escapar de allí tomando al asalto un tren. Las familias habían empezado a dividirse. La única perturbación social de esa magnitud que yo había visto fue en una epidemia de cólera. Ya se había hospitalizado a muchos trabajadores de la central.

2. ANTES DE UN EXAMEN de la tiroides, una niña y su madre esperan con inquietud en el Instituto de Endocrinología de Kiev. En los días y semanas que siguieron al accidente de 1986 en Chernóbil, se calcula que 13.000 niños inhalaron aerosoles que contenían altos niveles de yodo 131, isótopo radiactivo que se acumula en la tiroides. Se ha decuplicado desde entonces la incidencia de tumores tiroideos entre los niños ucranianos.

La distribución de las partículas radiactivas fue extremadamente irregular. La linde de un campo podía ser muy peligrosa, y unos cuantos metros más allá el nivel parecía bajo. Pero quedaron afectadas zonas extensísimas. Aunque el yodo 131 tiene una vida media de sólo ocho días, en las semanas siguientes al accidente este isótopo fue causa de una masiva emisión de radiación. El estroncio 90 y el cesio 137, por su parte, son más persistentes. Se cree que a largo plazo las mayores dosis de radiación serán las debidas al cesio.

Sumado todo, más de 260.000 kilómetros cuadrados del territorio de Ucrania, Rusia y Bielorrusia tienen aún más de un curie por kilómetro cuadrado de contaminación con cesio 137. Dado ese nivel, se recomienda a los residentes un examen médico anual. En mi propio país, Ucrania, el área total en esas circunstancias sobrepasa los 35.000 kilómetros cuadrados, más del cinco por ciento de su superficie total. En su mayor parte, 26.000 kilómetros cuadrados, es labrantío. Se ha restringido los cultivos en las zonas más afectadas, pero se sigue sembrando en los distritos menos contaminados.

Las partes muy contaminadas de Ucrania abarcan trece regiones administrativas (*oblast*). En ellas hay 1300 pueblos, que suman 2,6 millones de habitantes, de los que 700.000 son niños. En el plazo de unos diez días tras el accidente, abandonaron sus hogares 135.000 personas que vivían en las zonas más afectadas; en estos momentos han emigrado ya 167.000. Pero está claro que el empeño de las autoridades en ocultar la magnitud de la hecatombe agravó inútilmente la situación. Si se hubiesen evacuado un número mayor de habitantes de la región durante los primeros días, los más cruciales, muchos habrían recibido dosis de radiación menores.

En treinta kilómetros a la redonda de la central de Chernóbil apenas vive ahora nadie. Se han evacuado también 60 pueblos que estaban fuera de esa zona. Emplazamientos antaño dinámicos son ahora pueblos fantasmas. El gobierno ha reaccionado promulgando leyes que conceden una categoría especial a las áreas contaminadas y garantizan protección a quienes más sufrieron. Pero las repercusiones durarán generaciones.

Las consecuencias médicas son, por supuesto, las más serias. De los 400.000 trabajadores que hicieron de "liquidadores" —personal militar y civil que se ocupó de enterrar los residuos más peligrosos y de construir en torno al reactor siniestrado un edificio especial, el "sarcófago"— han caído enfermos unos 30.000. De éstos, unos 5000 han quedado inválidos.

No es fácil averiguar, ni siquiera de forma aproximada, cuántas personas han muerto ya a causa del accidente. Las poblaciones se han dispersado y a los niños se los ha alejado de algunas áreas. Mediante la comparación de los índices de mortalidad de antes y después del accidente, la organización Greenpeace Ucrania ha calculado un total de 32.000 muertos. Unos cálculos arrojan una cifra mayor, otros menor, pero creo que una cifra de esa magnitud es defendible. Puede que algunas, quizá muchas, de esas muertes se deban a la inmensa tensión psicológica que sufren quienes viven en la región contaminada.

El examen médico de un numeroso grupo de liquidadores, efectuado por investigadores de Kiev dirigidos por Sergei Komissarenko, ha descubierto que la mayor parte de la muestra sufría una constelación de síntomas que, juntos, parecen definir un nuevo síndrome médico. Entre los síntomas se aprecian fatiga, apatía, un menor número de células "asesinas naturales" en la sangre.

Las células asesinas naturales, un tipo de leucocitos, matan las células de los tumores y las infectadas por virus. La caída de su número debilita el sistema inmunitario. Algunos han llamado a este síndrome "el sida de Chernóbil". Además de incrementarse la tasa de leucemia y tumores malignos, quienes padecen el síndrome se hallan expuestos a cardiopatías severas e infecciones comunes como bronquitis, tonsilitis y neumonías.

Al haber inhalado aerosoles que contenían yodo 131 inmediatamente tras el accidente, 13.000 niños de la región quedaron expuestos a dosis de radiación en la tiroides de más de 200 equivalentes roentgen. (Quiere decir que recibieron por lo menos el doble del máximo admitido para los trabajadores de la industria nuclear en un año entero.) Hasta 4000 de esos niños sufrieron dosis de 2000 equivalentes roentgen. Como el yodo se acumula en la glándula tiroides, han desarrollado una inflamación tiroidea crónica. La inflamación no produce síntomas por sí misma, pero

ha empezado a generar una ola de casos de cáncer de tiroides.

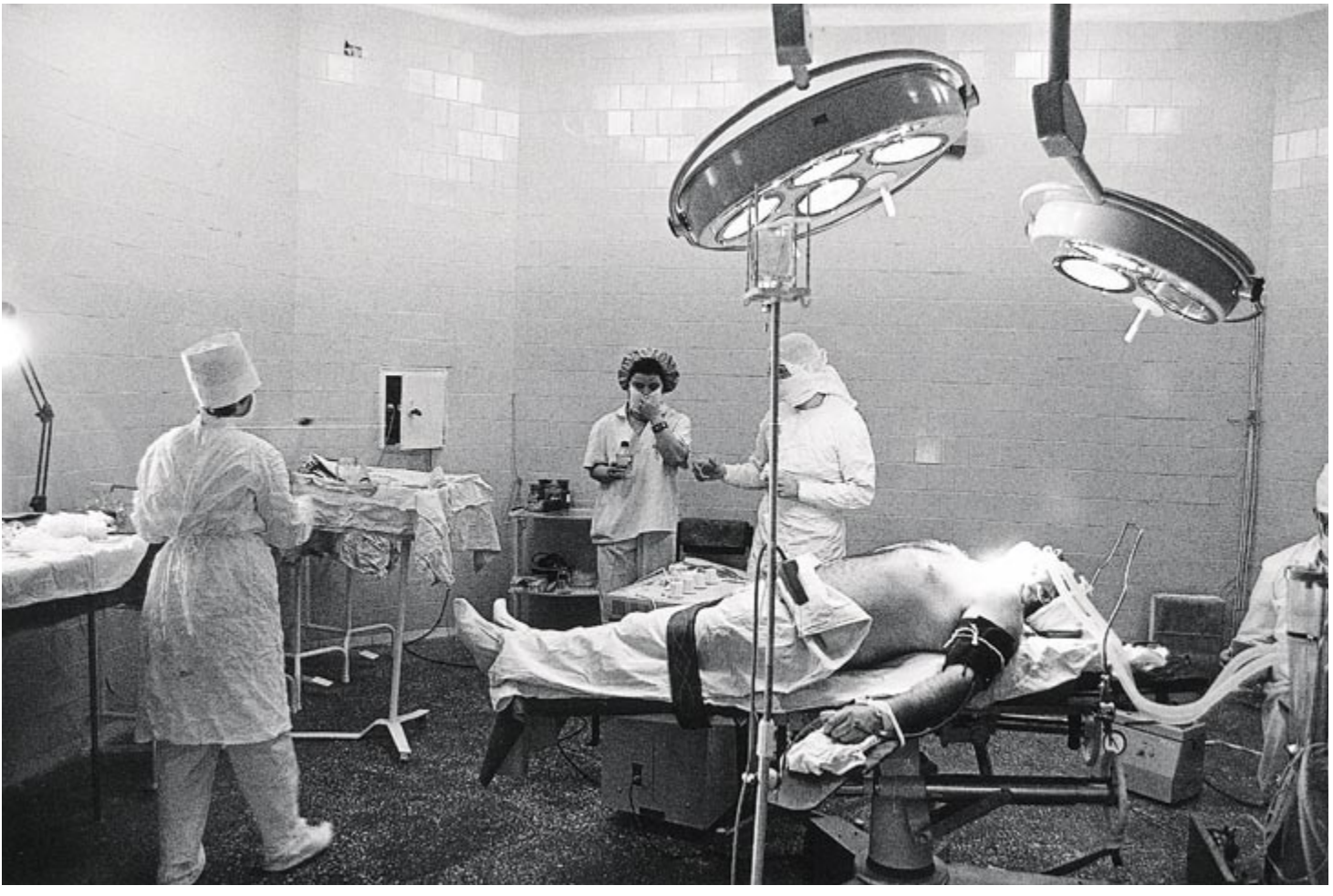
Los números hablan por sí mismos. Según los datos recopilados por Mykola D. Tronko y sus colegas, de Kiev, entre 1981 y 1985 —antes del accidente— el número de cánceres de tiroides en Ucrania era de unos cinco anuales. Cinco años después del desastre era de 22 al año, y entre 1992 y 1995 el promedio anual fue de 43. De 1986 a finales de 1995 se registraron 589 casos de cáncer de tiroides de niños y adolescentes. (En Bielorrusia la incidencia es aún mayor.) La tasa global del cáncer de tiroides infantil en Ucrania decuplica los niveles previos al accidente y es ahora de más de cuatro casos por millón. Este cáncer forma metástasis fácilmente, pero si se le detecta a tiempo se cura extirpando la glándula. Los pacientes tienen entonces que recibir un tratamiento de por vida que les aporte hormonas tiroideas.

Otra investigación, realizada por expertos ucranianos e israelíes, ha hallado que uno de cada tres liquidadores —sobre todo hombres de treinta y tantos años— ha padecido problemas sexuales o relacionados con la reproducción: impotencia, anomalías del fluido espermático y merma de la capacidad fecundante de los espermatozoides. Han crecido los embarazos con complicaciones entre las mujeres que viven en las áreas afectadas, y muchos chicos y chicas padecen un temor fóbico a la radiación.

Se ha demostrado, pues, que los optimistas que predijeron la inexistencia de consecuencias médicas de la explosión a largo plazo se equivocaron de plano. Estas autoridades eran en su mayoría los responsables sanitarios de la extinta Unión Soviética y seguían un guión escrito por el buró político del Comité Central del Partido Comunista. Pero había también algunos especialistas en energía nuclear occidentales.

Cierto es que las previsiones de los "catastrofistas" —algunos de los cuales predijeron que el número de casos de cáncer superaría con creces los 100.000— no se han cumplido. Con todo, la experiencia previa sobre los efectos a largo plazo de la radiación — procedente de los estudios efectuados en Hiroshima y Nagasaki— indica que las pérdidas humanas seguirán creciendo. Pueden pasar muchos años antes de que los cánceres causados por la radiación se manifiesten; las perspectivas para la salud de los niños en las regiones de radiación muy alta son, por desgracia, sombrías.

El silencio sobre el peligro de la radiación en la propaganda soviética ha producido el efecto contrario al que se pretendía. La gente vive con un estrés continuo, asustada por su salud y, sobre todo, la de sus hijos. Este trauma mental ha generado un síndrome psicológico comparable al sufrido por los veteranos de las guerras de Vietnam y Afganistán. Entre los niños evacuados de la zona del reactor, la incidencia de trastornos



3. PARA EVITAR LA FORMACION DE METASTASIS, el paciente se somete a la extirpación quirúrgica de la glándula tiroides. La operación, efectuada en la clínica oncológica del Instituto de Endocrinología de Kiev, es el único tratamiento del cáncer de tiroides. El paciente tendrá que tomar hormonas tiroideas durante el resto de su vida para reemplazar las que ya no se sintetizarán en su organismo.

4. EL REACTOR INCENDIADO fotografiado desde el aire no mucho después del desastre (*izquierda*). Se construyó apresuradamente un "sarcófago" de hormigón y acero (*derecha*) para confinar los peligrosos radioisótopos; en estos momentos se está deteriorando a un ritmo alarmante. Un consorcio internacional propone que se lo rodee con una estructura más fuerte, pero su construcción, que duraría cinco años, costaría unos 40.000 millones de pesetas.

neuropsiquiátricos se ha multiplicado de 10 a 15 veces.

La catástrofe y el éxodo consiguiente de grandes poblaciones han causado también un daño irreparable a la rica diversidad étnica de las zonas contaminadas, en especial a los llamados *drevlyany* ("gentes de los bosques") y *polishchuks*, habitantes de la región de Polissya. Se han perdido sus peculiaridades arquitectónicas y otros productos de su cultura espiritual y material con la degradación de las ciudades y pueblos abandonados. Buena parte del hermoso paisaje es ahora inseguro para las personas.

El gobierno ucraniano, que debe afrontar una grave crisis económica, se ve obligado a gastar más del 5 por ciento de su presupuesto para paliar las consecuencias de Chernóbil. Con ese dinero se ofrece, entre otras prestaciones, alojamiento gratuito a unos tres millones de personas a las que se les ha reconocido oficialmente que fueron víctimas de la catástrofe (de ellas 356.000 liquidadores y 870.000 niños). Ucrania ha establecido un impuesto especial, igual al 12 por ciento de la renta, para recaudar los fondos necesarios, pero no está claro hasta cuándo podrá el gobierno mantener esas prestaciones a su nivel actual.

La zona de Chernóbil es hoy uno de los lugares radiactivos más peligrosos del mundo. Entre los escombros del reactor destruido hay decenas de miles de toneladas métricas de combustible nuclear con un nivel total de radiactividad de unos 20 millones de curies. El nivel de radiación en el reactor propiamente dicho, varios miles de roentgen por hora, es letal para toda forma de vida. Pero el peligro se extiende mucho más allá. En 30 kilómetros a la redonda hay unos 800 fosos de enterramiento, construidos deprisa y corriendo, donde, sin más, se han vertido en pozos de paredes de arcilla residuos muy radiactivos (árboles incluidos que habían absorbido radioisótopos de la atmósfera).

Puede que estos fosos expliquen la considerable contaminación de los sedimentos del río Dnieper y su afluente el Pripyat, que suministran agua a 30 millones de personas. Los sedimentos del Pripyat junto a Chernóbil contienen, se estima, 10.000 curies de estroncio 90, 12.000 de cesio 137 y 2000 de plutonio. Para evitar que los compuestos solubles sigan contaminando los manantiales hay que trasladar los residuos a instalaciones adecuadamente diseñadas y equipadas, y esas instalaciones aún no existen.

Los dos reactores que todavía funcionan en la central de Chernóbil plantean también un gran problema (un incendio dejó fuera de servicio un tercero en 1992). Generan el 5 por ciento de la energía de Ucrania; el sector nuclear produce en conjunto el 40 por ciento de la electricidad del país. Aun así, Ucrania y el Grupo de los Siete firmaron en diciembre de 1995 un acuerdo formal sobre un proyecto de cooperación para cerrar definitivamente la central de Chernóbil a lo largo del año 2000. El acuerdo establece que la Unión Europea y los Estados Unidos ayudarán a Ucrania a preparar planes que mitiguen los efectos del cierre en la población local. Prevé también mecanismos que permitirán a los países donantes acelerar la mejora de la seguridad de uno de los reactores aún en uso. Además, el acuerdo estipula la cooperación internacional para retirar de servicio la central y enfrentarse al mayor de todos los problemas: la sustitución duradera y ecológicamente adecuada del "sarcófago" que se construyó alrededor de las ruinas del reactor número cuatro.

El "sarcófago", de diez pisos de alto y paredes de más de seis metros de espesor, construido sobre todo con hormigón y grandes placas metálicas, se diseñó para que durase 30 años. Pero se edificó apresuradamente y en medio de una gran radiación. Por ello la calidad de la obra fue pobre, y la estructura necesita hoy una reparación inmediata. El metal empleado en el edificio se ha corroído y más de 1000 metros cuadrados de hormigón están muy agrietados. La lluvia y la nieve penetran en el interior. Si el "sarcófago" se derrumbase —lo que ocurriría si hubiese un terremoto—, los escombros liberarían, muy probablemente, grandes cantidades de polvo radiactivo.

En 1993 se celebró un concurso internacional para encontrar la mejor solución a largo plazo. Se escogieron, entre 94 propuestas, seis proyectos, y se los sometió a una evaluación

más detallada; al año siguiente se seleccionó un ganador: Alliance, un consorcio encabezado por Campenon Bernard, de Francia. Su propuesta, que consiste en la construcción de un "supersarcófago" alrededor del existente, une empresas de Francia, Alemania, Gran Bretaña, Rusia y Ucrania. El grupo ya ha realizado estudios de viabilidad. Si el proyecto sale adelante, el diseño costará de unos 2500 a cerca de 4000 millones de pesetas, y la construcción —en la que se invertirían cinco años— unos 40.000 millones de pesetas. La eliminación final de los residuos del accidente llevará 30 años, por lo menos. Una posibilidad que se estudia es encerrar los residuos en un cristal especial.

Chernóbil no fue un desastre más del estilo de los que la humanidad ha sufrido a lo largo de la historia, como incendios, terremotos o inundaciones. Es un suceso de nuevo cuño con repercusiones en toda la biosfera. Se caracteriza por la presencia de miles de refugiados medioambientales, por la contaminación duradera del suelo, el agua y el aire, y, posiblemente, por un deterioro irreparable de los ecosistemas. Chernóbil es una demostración de la amenaza siempre creciente de que la técnica se nos escape de las manos.

Los ingenieros que diseñaron la central, que no se atenía a las normas internacionales de seguridad, son, sin duda alguna, tan culpables como los técnicos encargados de su operación. El RMBK-1000 es una adaptación de un reactor militar ideado, en su origen, para producir el material de las armas nucleares. No había estructura de contención reforzada alrededor del reactor que limitase los efectos de un accidente. Debería alarmar que los reactores RMBK todavía funcionen en Ucrania, Lituania y Rusia.

El desastre refleja la enorme responsabilidad de los científicos y demás expertos que asesoran a los políticos en las cuestiones técnicas. La jefatura comunista de la extinta Unión Soviética debe compartir la culpa. A pesar de que por entonces el presidente Mikhail S. Gorbachov profesase el apoyo a la *glasnost*, o apertura, el régimen cerró hipócritamente filas tras la tragedia en un intento estéril, y en última instancia dañino, de minimizar el desastre ocurrido.

El suceso es una viva demostración de los fallos del monopolista sistema político y científico soviético.

5. CIUDAD FANTASMA: Pripyat, que fuera una dinámica ciudad de 45.000 habitantes, albergó a muchos de los trabajadores de la central de Chernóbil. Se evacuó tras el accidente y sigue desierta.

Aquel régimen concedía la mayor importancia al secreto y, para que la construcción fuese lo más barata posible, a la simplificación de las medidas de seguridad. Se despreció, simplemente, la experiencia internacional relativa a la seguridad de los reactores. La catástrofe subraya, además, el peligro que las centrales de energía nuclear pueden suponer donde haya guerra. Ni que decir tiene que en esas circunstancias son potencialmente vulnerables a los ataques terroristas.

Chernóbil le ha enseñado a todas las naciones una lección trágica acerca de la necesidad de estar preparados si hemos de depender de la técnica nuclear. La humanidad perdió la inocencia el 26 de abril de 1986. Nos hemos embarcado en una nueva era, la era pos-Chernóbil, y aún no hemos captado todas sus consecuencias.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

CHERNOBYL: A DOCUMENTARY STORY. Iurii Shcherbak. Traducido al inglés por Ian Press. St. Martin's Press, 1989.

CHORNOBYL: LIVING WITH THE MONSTER. Mike Edwards, en *National Geographic*, vol. 186, n.º 2, págs. 100-115; agosto de 1994.

LA RADIACIÓN Y LA INMUNIDAD HUMANA [en ruso]. Sergei Komissarenko. Naukova Dumka, Kiev, 1994.

CARING FOR SURVIVORS OF THE CHERNOBYL DISASTER: WHAT THE CLINICIAN SHOULD KNOW. Armin D. Weinberg et al., en *Journal of the American Medical Association*, vol. 274, n.º 5, págs. 408-412; 2 de agosto de 1995.

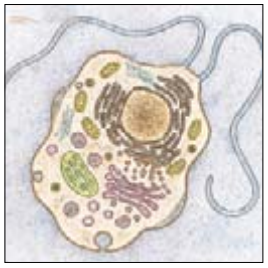
INVESTIGACION y CIENCIA

Junio de 1996 Número 237

8

Salas inteligentes
Alex P. Pentland

Existen sistemas capaces de seguir la pista a personas, de reconocer sus rostros y de interpretar su habla, sus gestos y expresiones. Valiéndose de esta técnica, los investigadores están construyendo “salas inteligentes”, en las que podemos consultar pantallas multimedios, jugar con animales virtuales o controlar programas mediante señas.

18 

El origen de las células eucariotas
Christian de Duve

Algunos componentes de las células eucariotas descienden de otras células más simples que en el pasado vivieron simbióticamente. Esas asociaciones celulares provocaron saltos evolutivos que tuvieron lugar a lo largo de períodos de tiempo considerables. El autor de *La célula viva* explica cómo la selección natural preparó el camino para que se produjeran tales avances.

28

La búsqueda de vida en otros planetas
J. Roger P. Angel y Neville J. Woolf

El hallazgo reciente de planetas que giran en torno a otras estrellas sólo es un punto de partida. Para que llegue a saberse si hay otros mundos como el nuestro se necesitarán nuevos tipos de telescopios, capaces de identificar las marcas reveladoras de la existencia de vida, aun cuando se encuentren a años luz de distancia y estén celados por el brillo de otros soles.

46

Chernóbil, diez años después
Yuri M. Shcherbak

Hace diez años, el reactor número 4 de la central de energía nuclear de Chernóbil estalló y diseminó por Europa oriental cenizas radiactivas. El embajador de Ucrania en Estados Unidos, que en Kiev se dedicaba a la investigación médica y fue uno de los primeros facultativos que atendieron a los heridos, examina las consecuencias clínicas del accidente.

52

Elementos transponibles de *Drosophila*
Rosa de Frutos

Los elementos transponibles fueron descubiertos hace medio siglo por Barbara McClintock en cromosomas del maíz. Estas secuencias discretas de ADN, que parasitan el genoma, pueden convertirse en partículas infectivas. La capacidad de transferencia horizontal de una especie a otra de un elemento transponible depende de la proximidad física entre los huéspedes.

Portada: Jackie Beckett

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
8-9	Jared Schneidman Design (*dibujo*); Sam Ogden (*fotografía*)
10-11	Sam Ogden (*izquierda*); cortesía de Alex P. Pentland (*derecha*)
13-16	Sam Ogden
18-23	Roberto Osti
24	Dimitry Schidlovsky
25	S. E. Frederick, Universidad de Wisconsin-Madison
28-29	Alfred T. Kamajian
31-34	Michael Goodman
35	Univ. de Arizona, proyecto Oases
46	Grochowiak/Keplicz, *Sygma*
47	Igor Kostin/Mago, *Sygma*
48-49	Vladimir Syomin
50	Igor Kostin/Mago, *Sygma* (*izda.*); Conti/S. Bukowski, *SIPA* (*dcha.*)
51	*SIPA*
54-56	Rosa de Frutos
57	Nuria Paricio
58	Lluís Pascual (*arriba*); Ibo Galindo y Lluís Pascual (*abajo*)
59	Trini Alberola
60	Documentos PLS (*izquierda*); Roger-Viollet (*derecha*)
62	Documentos PLS
66-67	Ed Bridges, Museo Americano de Historia Natural
68-69	Museo Americano de Historia Natural (*arriba*); Denis Finnin, Museo Americano de Historia Natural (*abajo, izda.*); David A. Grimaldi (*abajo, dcha.*)
70	David A. Grimaldi (*arriba*); Jackie Beckett, Museo Americano de Historia Natural (*abajo*)
71	David A. Grimaldi
72	Stephen Doberstein y Michael Delannoy, Univ. Johns Hopkins (*arriba*); (*abajo*) David A. Grimaldi (*dibujos*); Ed Bridges, Museo Americano de Historia Natural (*fotografía*)
73	David A. Grimaldi (*sup. izda. y centro*); William Crepet, Univ. de Cornell (*sup. dcha.*); Jackie Beckett, Museo Americano de Historia Natural (*abajo*)
74-75	IBM (*izda.*); IMM y Xerox (*sup. dcha.*); James Gary (*centro e inferior derecha*)
76-77	Peter Menzel (*arriba izda.*); libros (*de arriba a abajo*): cortesía de Bantam Spectra, Bruce Jensen; cortesía de Bantam Books, Pamela Lee, cortesía de Baen Books, Stephen Hickman; James Aronovsky, Zuma (*abajo dcha.*)
78-79	David Scharf (*de izquierda a derecha*); George Kelvin; Andreas Thess y Pavel Nikolaev; D. Eisenberg y W. Degrado
84	Bryan Christie
85-88	Johnny Johnson
89	Michael Goodman
96	Boston Globe Photo (*foto*); Dee Breger (*micrografía*); Steve Karp

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *Salas inteligentes, Fermat, demostrado al fin* y *Juegos matemáticos*; Esteban Santiago: *El origen de las células eucariotas*; Mónica Murphy: *La búsqueda de vida en otros planetas*; Juan Pedro Campos: *Chernóbil, diez años después*; Joandomènec Ros: *Atrapados en ámbar*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio* e *Ideas aplicadas*; Angel Garcimartín: *Perfiles.*

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*; Ricki L. Rusting, Timothy M. Beardsley, *Associate Editors*; John Horgan, *Senior Writer*; Corey S. Powell; W. Wayt Gibbs; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Philip M.Yam; Glenn Zorpette
PRODUCTION Richard Sasso
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley
PUBLISHER John J. Moeling, Jr.

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada

Copyright © 1996 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1996 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España